Titel:
Anpassung der Nachgiebigkeit des Antriebsstranges in Servospindelpressen

Abstract
Das vorliegende Forschungsprojekt befasst sich mit der Nachgiebigkeitsanpassung des Antriebsstranges einer Servospindelpresse. Auf diese Weise sollen Kraftpfade und damit der eigentliche Fertigungsprozess gezielt beeinflusst werden. Ziel dieser Arbeit ist die Integration einer Aktorik, welche auf dem Formgedächtniseffekt basiert. Es werden einige Möglichkeiten der Integration aufgezeigt und die bestmögliche durch einen Bewertungsprozess ausgewählt. Für den ausgewählten Integrationsort werden zwei verschiedene Konstruktionen entwickelt. Eine Hürde bei der Anwendung von Formgedächtnislegierungen stellt das pseudoplastische Verhalten dar. Beim Versuch dieses Materialverhalten zu umgehen, entsteht eine umfangreiche Konstruktion, welche die gewünschte Wirkung der Nachgiebigkeitsanpassung
bedingt ermöglicht.

Schlagwörter
Servospindelpressen, Umformmaschinen, Formgedächtnislegierungen, Aktorik, Prozessbeeinflussung

Title:
Stiffness Adjustment of the drive train in servo spindle presses

Abstract
The present research project deals with the stiffness adjustment of the drive train in a servo spindle press. In this way, force paths and thus the actual manufacturing process are to be influenced in a controlled manner. The aim of this thesis is the integration of an actuator system based on the shape memory effect. Some possibilities of integration are shown and the best possible ones are selected by an evaluation process. Two different designs are developed for the selected integration location. A hurdle in the application of shape memory alloys is the pseudoplastic behaviour. Attempting to circumvent this material behaviour results in an extensive construction, which can achieve the desired effect of the stiffness adjustment conditionally possible.

Keywords
Servo spindle presses, forming machines, shape memory alloys, actuators, process adjustment

Authoren:
Zorn, Wolfgang; Hamm, Lucas

Institution:
Fraunhofer Gesellschaft; Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

Datum:
2020-03-09

Technisches Anwendungsgebiet

Das Forschungsprojekt betrifft ein System zur Beeinflussung der Kraftverteilung in Umformwerkzeugen.

1. Aufgabe des hier vorgestellten Forschungsprojekts

Die Aufgabe des hier vorgestellten Forschungsprojekts ist, die Kraftverteilung in der Blechebene von Umformwerkzeugen in vorgegebenen Grenzen einzustellen, um so die Prozesssicherheit zu steigern und/oder die Prozessgrenzen zu erweitern.

2. Stand der Technik

Mit [Mai12] und [Neu09] finden sich verschiedene Publikationen, welche die Beeinflussung des Umformprozesses durch den Einsatz von Piezoaktorik im Werkzeug fokussieren. Hierbei werden leistungsstarke Piezoaktorik im Flanschbereich des Werkzeug integriert (vgl. Abbildung 1).

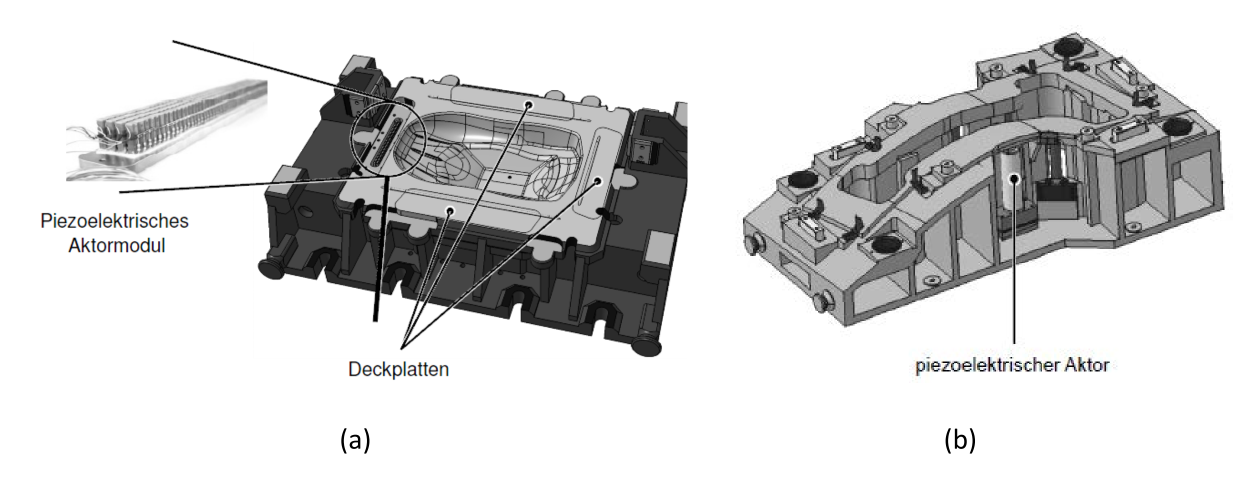


Abbildung 1: Ansätze zu Piezoaktorik im Umformwerkzeug (aus [Mai12], [Neu09])

Aufgrund der Anordnung im Kraftfluss des kraftgeregelten Ziehkissens erfolgt hier über der Fläche keine Vergrößerung der Blechhalterkraft, sondern im Wesentlichen eine Umverteilung der Kraft. Das Prinzip wird in der Offenlegungsschrift DE 10 2012 018606 A beschrieben. Die Piezoaktorik sind hierbei derart angeordnet, dass die Kraft über eine Deckplatte mit Festkörpergelenk direkte auf das Blech geleitet werden kann. Wird ein kraftgeregeltes Ziehkissen verwendet, erfolgt in den Bereichen um die Aktorik eine lokale Umverteilung der Flächenpressung, die zu einem veränderten Materialeinlauf führt.

Der in der Offenlegungsschrift DE 10 2014 004 521 A1 beschriebene Ansatz begegnet der Problematik, wonach es bei unterschiedlichen Pressen zu unterschiedlichen Durchbiegungen der Druckplatte (Stößelplatte) kommt. Dies führt zu einer Umverteilung der Kraftverteilung. Der vorgestellte Ansatz sieht demnach eine Kompensationseinheit zwischen Werkzeug und Stößel

vor, welche einerseits manuell, andererseits aber auch aktorisch eingestellt werden kann. Hierbei ist sowohl eine Hub-zu-Hub, als auch eine In-Hub-Ansteuerung und –Regelung vorgesehen.

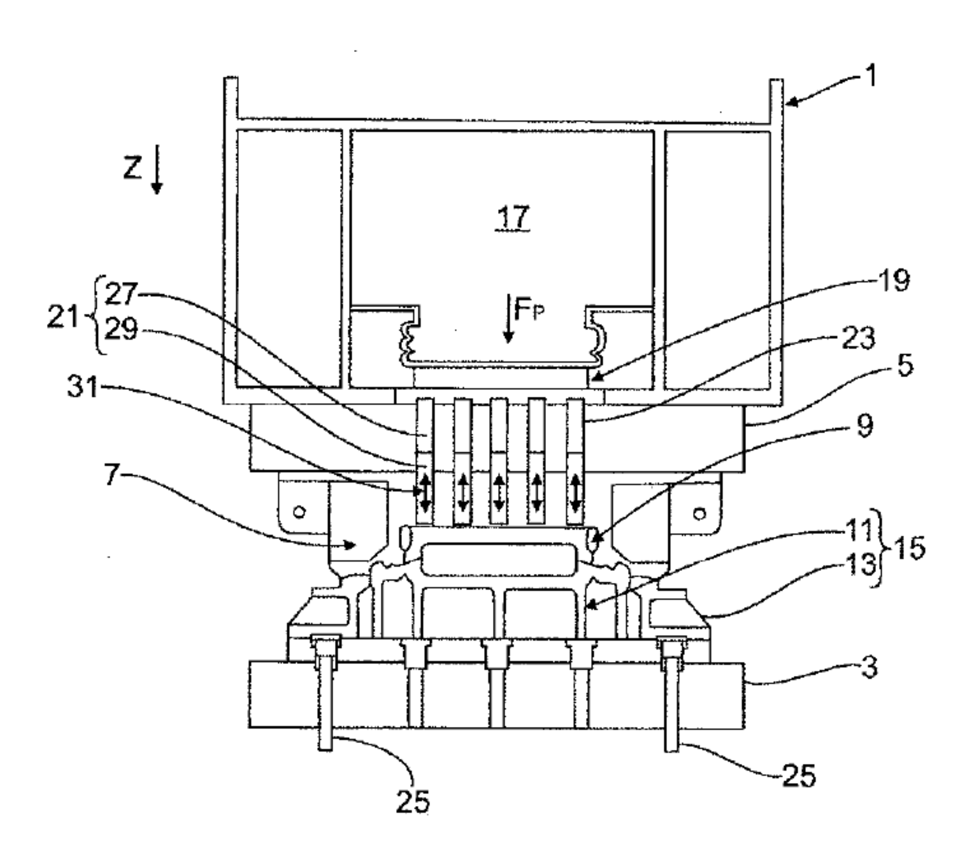


Abbildung 2: Aktive Kompensation der Stößelverkippung

Die Schriften DE 103 31 939 B4 und DE 10 2014 221 550 A1 thematisieren eine Methodik zur Beeinflussung des Tiefziehprozesses, indem der Abstand zwischen Ober- und Unterwerkzeug bei s.g. Blechhalterschluss aktiv und lokal eingestellt werden kann. Hierzu werden die Blechhalterdistanzen, welche um den Einlaufbereich des Bleches angeordnet sind, in ihren Distanzhöhen im Mikrometerbereich automatisiert eingestellt. Durch höhere Distanzen kann der Kontaktdruck des Bleches im Umfeld der jeweiligen Distanz verringert, durch geringere Distanzen entsprechende vergrößert werden.

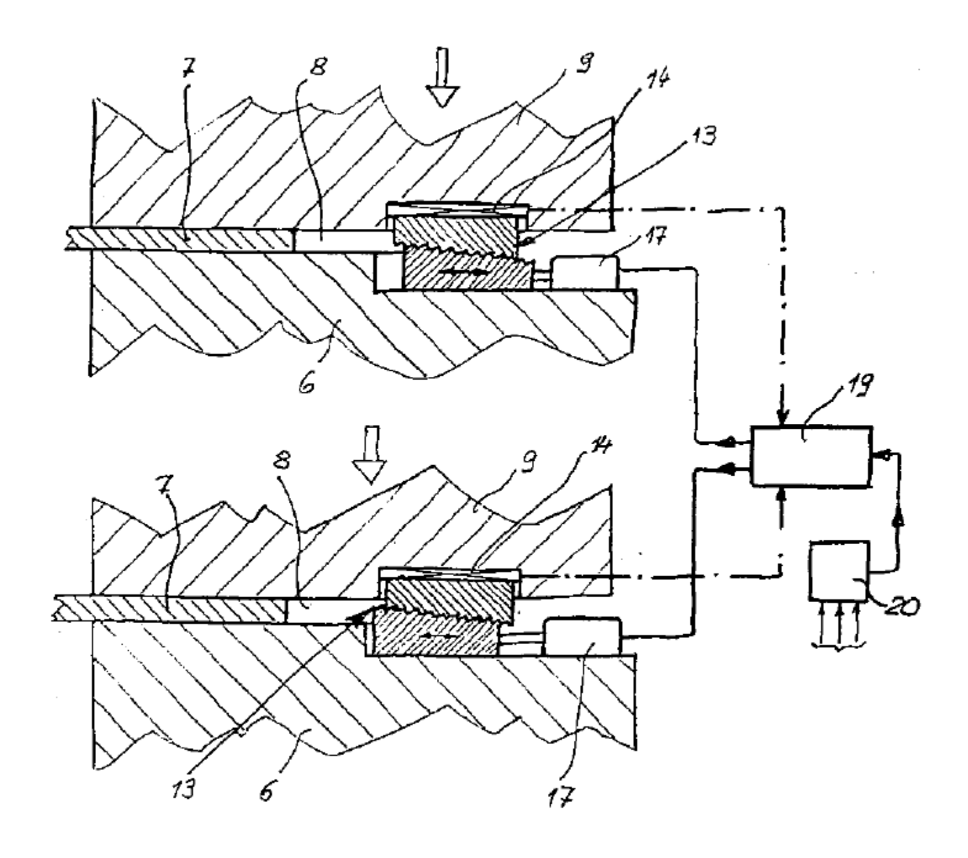


Abbildung 3: Aktiv-einstellbare Blechhalterdistanzen

Ein ähnlicher Ansatz wird auch in der Patentschrift DE19926906A1 beschrieben.

3. Nachteile des Standes der Technik

Der im Stand der Technik vorgestellte Ansatz mit Piezoaktorik ist im Allgemeinen mit dem Einsatz von entsprechend hohen elektrischen Spannungen verbunden. Üblicherweise werden hier Treiberspannungen von 200V bis hin zu 1000V eingesetzt. Die Realisierung erfolgt im Allgemeinen durch die Nutzung von entsprechenden Verstärkerstufen, die zugunsten des Arbeitsschutzes nah an der Piezoaktorik in das Werkzeug integriert werden müssten, da ansonsten das Gefahrenpotential durch offene Leitungen zu hoch ist.

Der Vorteil der hochdynamischen Systemanpassung ist vorhanden, allerdings insbesondere für schleichende Eigenschaftsänderungen des Maschine/Werkzeug-Systems (z.B. Verschleiß) nicht signifikant.

Der Ansatz der aktiven Blechhalterdistanzen ist mit dem Nachteil verbunden, dass diese nur im Randbereich des Werkzeugs um das Blech herum angeordnet werden können. Eine komplexe Anpassung der Kraftverteilung in der Werkstückebene ist damit nicht möglich.

Die Kompensationsvorrichtung für die Stößelverkippung ist ein System, was per se mit einem enorm großen apparativen Aufwand verbunden ist. Eine Integration in ein Werkzeug ist nur bedingt möglich.

4. Grundzüge des Lösungsweges

Zur Verdeutlichung des Tiefziehprozesses ist in Abbildung 3 ein exemplarisches Umformwerkzeug schematisch dargestellt. Durch die Umformmaschine zieht die Matrize das Blech über den Stempel und realisiert somit die Umformung. Zur Steuerung des Blecheinlaufes wird über den Blechhalter eine Gegenkraft erzeugt, von welcher das Prozessergebnis maßgeblich abhängt.

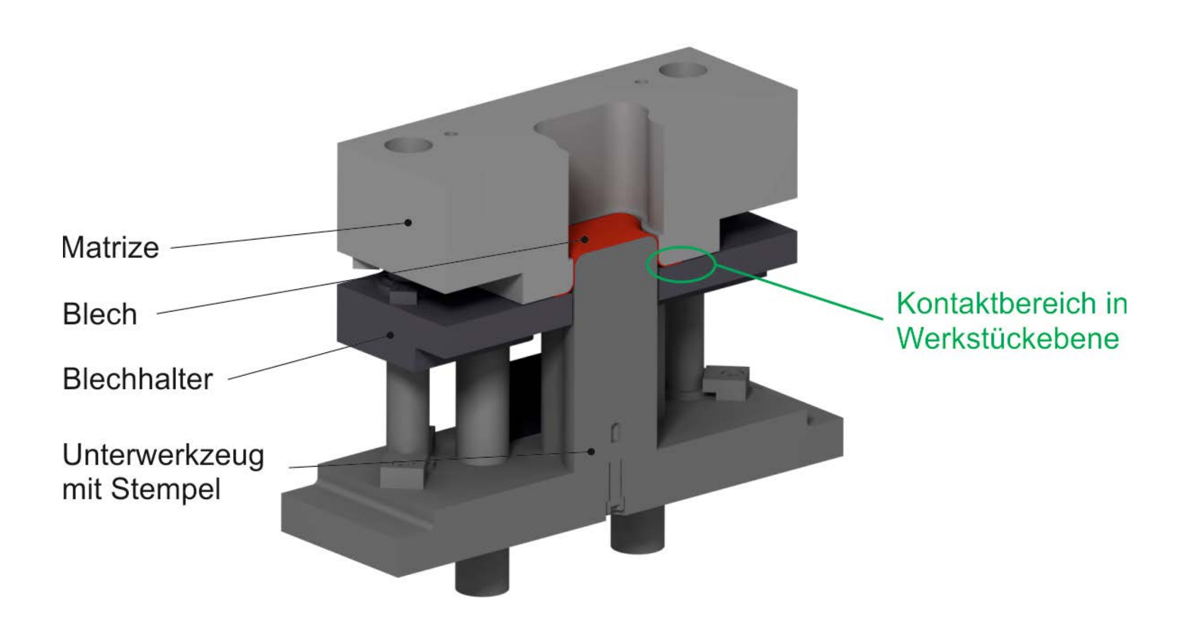


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau eines Tiefziehwerkzeugs

Die vom Stößel in das Umformwerkzeug eingeprägte Last verteilt sich in der Werkstückebene über den kompletten Kontaktbereich Werkzeug-Blech. Die Homogenität der Verteilung hängt hierbei wesentlich von den Nachgiebigkeiten der Lastpfade durch das Werkzeug ab. Analog zum elektrischen Strom, welcher den Weg des geringsten Widerstandes geht, verläuft die Kraft als Flussgröße entlang des Pfades mit der geringsten Nachgiebigkeit. In ein Werkzeug mit homogener vertikaler Nachgiebigkeit würde demnach eine ebenso homogene Kraftverteilung eingeprägt werden (vgl. Abbildung 4a). Wird eine exzentrische Stößelbelastung angenommen, so entspricht dies einer lokalen Minimierung der Nachgiebigkeit, was nachvollziehbarerweise zu einer Bündelung der Lastpfade führt: Sämtliche Kraft würde über die exzentrische Last geleitet werden (vgl. Abbildung 4b).

Der allgemeine Praxisfall in der Umformtechnik stellt ein Szenario zwischen diesen beiden beschriebenen Extremfällen dar. Die Nachgiebigkeit aller möglichen Lastpfade wird dabei sowohl vom Werkzeug, als auch von allen beteiligten Komponenten im Antriebsstrang bestimmt.

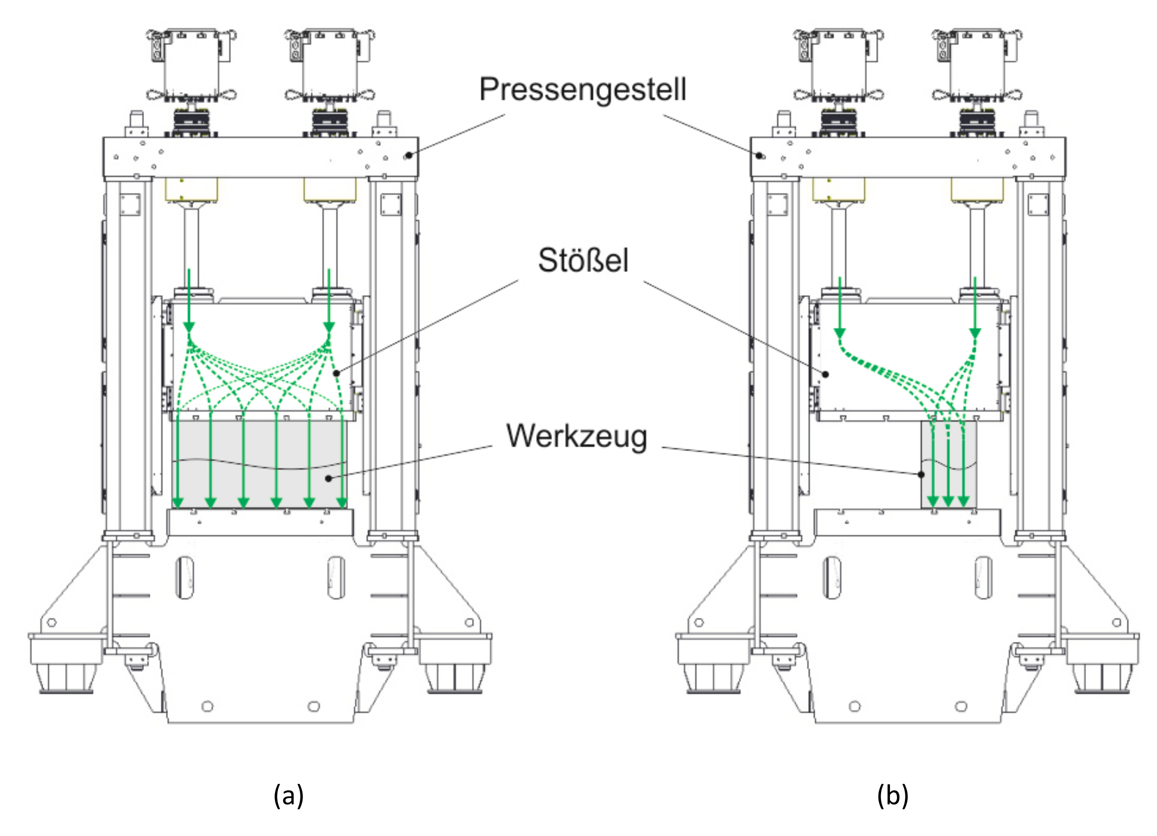


Abbildung 5: Kraftverteilung bei gleichförmiger (a) und exzentrischer Last (b)

Dem im Folgenden beschriebenen Ansatz liegt hiermit die Überlegung zugrunde, dass eine gezielte Änderung der Nachgiebigkeit ausgewählter Kraftpfade zu einer Umverteilung der Kraftflüsse führt. Bezogen auf die Grenzfläche Werkzeug/Werkstück bedeutet dies eine Änderung der Kraftverteilung bzw. eine Beeinflussung des Prozesses und begegnet somit der zugrundeliegenden Problem- und Zielstellung dieser Projektskizze.

Der hier vorgestellte Ansatz für die Anpassung der Nachgiebigkeit in Umformwerkzeugen fokussiert den Einsatz von thermischen Formgedächtnislegierungen. Derartige Werkstoffe weisen einen temperaturabhängigen E-Modul auf (vgl. Abbildung 5), welcher ein Maß für die Materialsteifigkeit darstellt. Somit sind Formgedächtnislegierungen prinzipiell für den Einsatz als schaltbare Nachgiebigkeiten qualifiziert. Der E-Modul für die jeweilige Hoch- und Tieftemperaturphase hängt hierbei von der entsprechenden Legierung ab. Die Niedrigtemperaturphase (Martensit) weist einen deutlich geringeren E-Modul auf, als die Hochtemperaturphase (Austenit). Hierbei ist zu betonen, dass es im Umwandlungsbereich einen stetigen Übergang zwischen beiden Phasen gibt, sodass die Nachgiebigkeit kontinuierlich eingestellt werden kann.

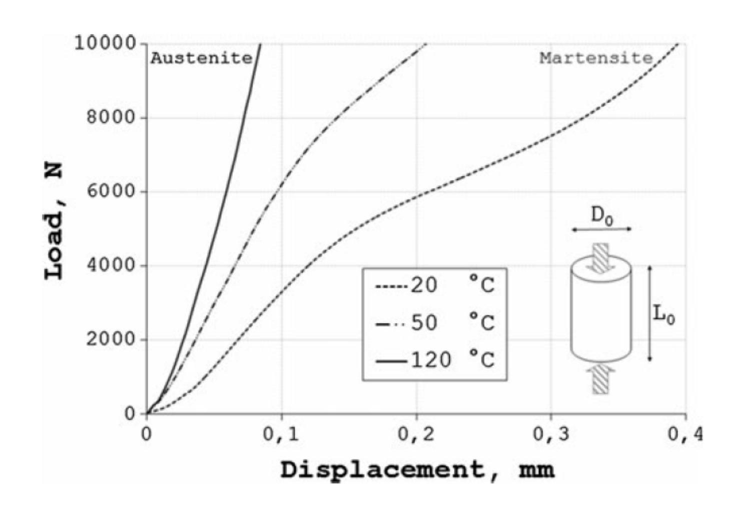


Abbildung 6: Kraft-Dehnungs-Kurve einer exemplarischen FGL-Probe [Nav14]

Formgedächtnislegierungen werden als Halbzeuge in verschiedenen Formen und Legierungen kommerziell vertrieben. Die verbreitetste Form stellen hierbei Drähte dar, welche kilometerweise auf Rollen gewickelt wird. Aufgrund der großen aufzunehmenden Druckkräfte in der Umformtechnik sind für diesen Anwendungsfall jedoch größere Durchmesser zu wählen, um ein Ausknicken zu vermeiden. Hierfür ist entsprechendes Stangenmaterial ebenfalls kommerziell erhältlich. Während jedoch für Drähte eine direkte Beheizung durch elektrischen Strom möglich ist (Joule'sche Wärme), ist dies für Stangenmaterial nicht ohne weiteres möglich, da der deutlich größere Querschnitt Stromstärken erfordert, die nur mit hohem apparativen Aufwand realisierbar sind. Hier müssen alternative Beheizungskonzepte (z.B. indirekt über Heizdraht) untersucht und beurteilt werden.

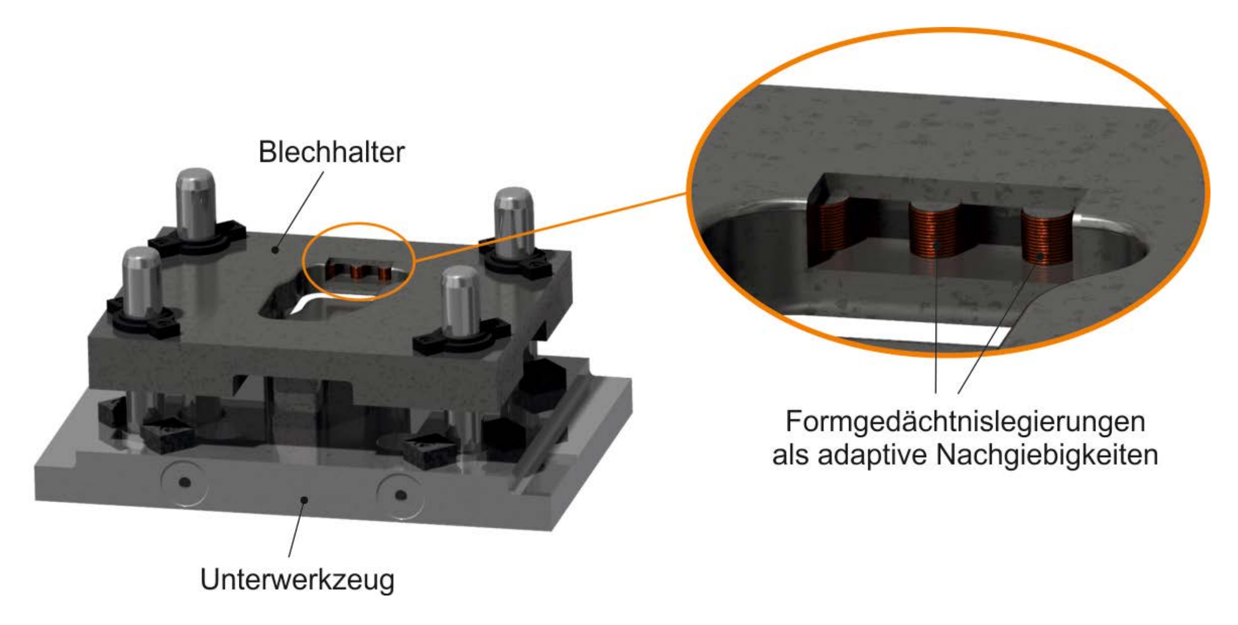
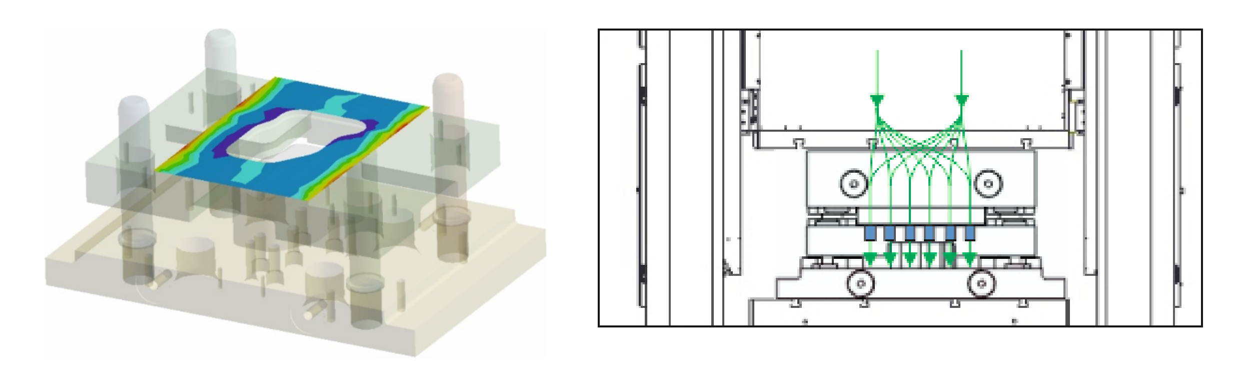


Abbildung 7: Integrationsansatz für Hochlast-FGL im Flanschbereich eines Blechhalters im Tiefziehwerkzeugs

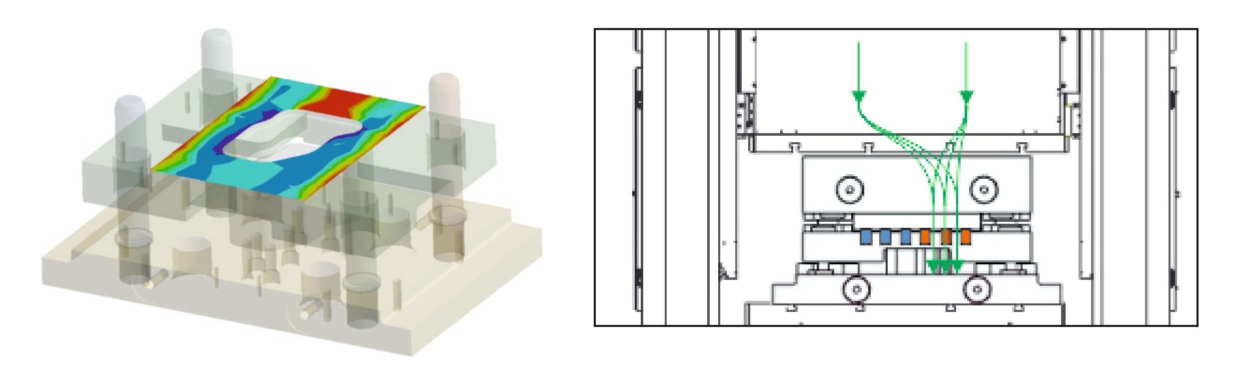
Eine gezielte wirkstellennahe Integration von Formgedächtnisaktorik im Flanschbereich eines Umformwerkzeuges und eine entsprechende Ansteuerung in Form einer Beheizung kann so das lokale Nachgiebigkeitsverhalten des Werkzeugs und somit die Kraftverteilung derart beeinflussen, dass eine aktive Beeinflussung der Bauteilqualität möglich ist. Hier ist

insbesondere die über den Ort differenzierte Aktivierung entscheidend, da erst in diesem Fall eine lokale Änderung der Kraftverteilung realisiert wird. Abbildung 6 illustriert das Integrationsprinzip.

Der Einfluss einer lokalen Verringerung der Nachgiebigkeit ist in Abbildung 7 durch eine Simulation qualitativ nachgewiesen worden. Deutlich zu erkennen ist der Anstieg der Flächenpressung im entsprechenden Bereich des Blechhalters nach „Aktivierung" der adaptiven Nachgiebigkeiten.



Inaktive Formgedächtnislegierungen führen zur homogenen Kraftverteilung



Einseitig aktivierte Formgedächtnislegierungen führen zur Bündelung des Kraftflusses

Abbildung 8: Verteilung der Flächenlast für inaktive (a) und einseitig aktive (b) FGL-Stifte im Blechhalter

5. Erzeugte Verbesserung und Vorteile gegenüber dem Stand der Technik

Gegenüber dem Stand der Technik stellt dieses Forschungsprojekt eine Möglichkeit der Anpassung der Kraftverteilung dar, welche ein enorm hohes Integrationspotential aufweist. Durch die hohe Leistungs- und Arbeitsdichte von Formgedächtnislegierungen ist darüber hinaus eine Minimierung des apparativen Zusatzaufwandes realisierbar. Das elektrische Spannungslevel kann auf 24V begrenzt werden, sodass keine zusätzlichen Absicherungsmaßnahmen erforderlich sind.

6. Quellen

[Mai12] Mainda, P.: *Piezoelektrische Aktoren in Presswerkzeugen zur Beeinflussung des Umformprozesses*. Dissertation, TU-Chemnitz, 2012

[Nav14] Navarro y de Sosa, I.; Bucht, A.; Junker, T.; Pagel, K.; Drossel, W.-G.: Novel compensation of axial thermal expansion in ball screw drives. WGP Production Engineering, Springer, 2014

[Neu09] Neugebauer, R.; Bräunlich, H.; Scheffler, S: *Strategien für die Prozessüberwachung*. In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): Berichte aus dem IWU. Bd. 52, Chemnitz 2009